

Perancangan Zero Forcing Equalizer dengan modulasi QAM berbasis perangkat lunak

Akhmad Zainul Khasin, Yoedy Moegiharto,
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jurusan Teknik Telekomunikasi
Laboratorium *Microwave*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Kampus ITS, Surabaya 60111
e-mail : kenshin_az@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam proyek akhir ini, dibuat suatu *software* equalizer menggunakan algoritma *Zero Forcing* dengan modulasi QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Kinerja dari *zero forcing* equalizer dilihat dari grafik BER yang dihasilkan. Untuk mendapatkan hasil BER yang bagus maka harus menentukan jumlah tap yang sesuai pada pendesainan *zero forcing* equalizer.

Zero forcing equalizer diuji pada kanal *multipath* yang memiliki 3 *path* dan 5 *path*. Pada *multipath* yang memiliki kanal 3 *path*, hasil BER yang maksimal didapat tap 9 atau lebih dengan nilai BER 10^{-3} pada Eb/No sebesar 10.5 dB. Pada *multipath* yang memiliki kanal 5 *path*, hasil BER yang maksimal didapat tap 11 atau lebih dengan nilai BER 10^{-3} pada Eb/No sebesar 11 dB.

Kata Kunci : QAM, Equalizer, ISI, multipath

1. PENDAHULUAN

Dengan semakin bertambahnya bangunan tinggi di kota-kota maka memberikan banyak *multipath* pada transmisi nirkabel. Fenomena *multipath* adalah suatu bentuk gangguan atau interferensi yang muncul ketika sinyal memiliki lebih dari satu jalur pada saat ditransmisikan. Propagasi dari *multipath* mengakibatkan terjadinya perbedaan waktu sehingga dapat menyebabkan terjadinya intersymbol interference (ISI) dimana simbol yang satu akan mengganggu simbol yang lainnya. ISI akan menyebabkan kesalahan pembacaan bit pada sisi penerima, sehingga sinyal yang diterima tidak sama dengan sinyal yang dikirim. Salah satu solusi untuk menangani ISI adalah dengan menambahkan sebuah equalizer pada sisi penerima. Salah satu jenis equalizer yang

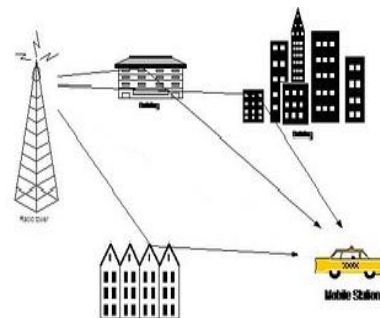
mudah dibuat dan diimplementasikan adalah *zero forcing* equalizer.

Zero forcing equalizer merupakan gabungan dari respon kanal dan respon dari equalizer itu sendiri untuk memaksa output dari equalizer menjadi nol kecuali untuk sinyal yang diinginkan. Output tersebut berupa koefisien dari equalizer yang dirancang sedemikian sehingga efek ISI menjadi nol.

2. TEORI PENUNJANG

2.1 Multipath

Multipath dapat diartikan sebagai lintasan jamak. *Multipath* terjadi ketika sinyal frekuensi radio memiliki jalur berbeda untuk sampai pada antenna penerima. Jalur berbeda tersebut artinya ada sebagian sinyal yang langsung dikirimkan menuju antenna penerima dan ada juga sebagian sinyal yang memantul pada suatu medium sampai akhirnya diterima oleh antenna penerima. Akibatnya, jarak yang ditempuh menjadi lebih jauh dan terjadi perbedaan waktu pada saat penerimaan sinyal.



Gambar 1. Kanal *Multipath*

Terjadinya perubahan pada deret sinyal yang diterima dapat menyebabkan terjadinya *intersymbol interference* (ISI). Akibatnya, sinyal yang ada pada

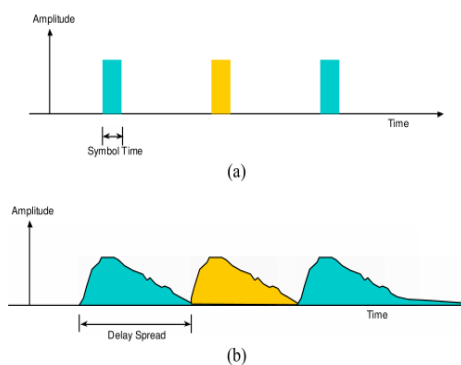
sisi penerima mempunyai fase yang berbeda. Sinyal hasil *multipath* bisa mengalami pelemahan ataupun penguatan karena adanya penjumlahan bit-bit sinyal yang diterima secara bersamaan namun fase yang berbeda.

Adanya *multipath* menyebabkan terdapat dua jenis komponen sinyal yang diterima pada sisi penerima, yaitu sinyal yang langsung diterima oleh antenna penerima dari antenna pemancar dan sinyal yang memiliki lintasan tidak langsung akibat adanya mekanisme propagasi seperti pemantulan, pencerminan, atau penghamburan. Sinyal yang memiliki lintasan langsung atau disebut dengan *Line of Sight* (LOS), memiliki waktu pengiriman lebih cepat sehingga pada sisi penerima sinyal LOS akan diterima paling awal. Level daya yang dimiliki oleh sinyal LOS merupakan level daya paling besar karena lintasan yang dilalui tidak jauh.

Pada umumnya efek *multipath* akan menyebabkan sinyal yang dikirim mengalami penundaan waktu sesuai dengan banyaknya lintasan pantulan yang dilalui. Banyaknya lintasan atau pantulan disebut dengan *path multipath*.

2.2 ISI (Interference intersymbol)

ISI adalah suatu bentuk dari distorsi pada sebuah sinyal dimana satu simbol mengganggu simbol berikutnya. Hal ini merupakan suatu fenomena yang tidak diinginkan dimana simbol sebelum dan sesudahnya mempunyai efek seperti *noise*, sehingga membuat komunikasi kurang baik. ISI disebabkan oleh propagasi lintasan jamak atau respon frekuensi non-linier dari sebuah kanal. Oleh karena itu, pada pembuatan filter di sisi penerima bertujuan untuk mengurangi efek ISI.

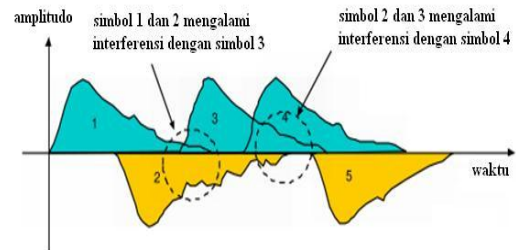


**Gambar 2. (a) Data yang dikirim
(b) Data yang diterima**

Pada saat awal proses pengiriman data dilakukan, pada gambar 2b dapat diperhatikan bahwa sinyal yang diterima cenderung untuk melebar satu sama lain. Masalah yang muncul dihubungkan dengan sifat pada kanal yang dilalui

dan juga jarak tempuh yang dilalui oleh sinyal. Untuk melawan efek yang tidak diinginkan ini, maka perlu dibuat jajaran filter dan yang koefisien-koefisiennya harus direncanakan untuk mengurangi peluberan sinyal.

Gambar 3. menunjukkan Sinyal yang dikirimkan mengalami banyak peristiwa pada kanal yang mengakibatkan sinyal tersebut tercampur dengan noise dan mengalami ISI sehingga pada saat diterima simbol-simbol melebar dan mengganggu simbol yang lain.



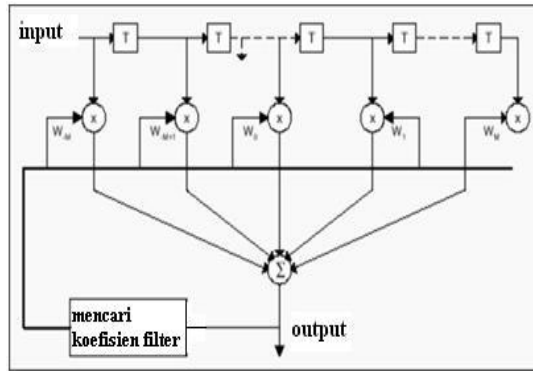
Gambar 3. Interference intersymbol

2.3 Equalizer

Equalizer merupakan alat yang digunakan untuk memperbaiki data yang rusak akibat distorsi kanal. Equalizer merupakan filter digital yang dipasang pada sisi penerima yang bertujuan agar sinyal yang masuk pada sisi penerima tidak lagi berupa sinyal yang mengalami interferensi. Untuk kanal komunikasi yang karakteristiknya tidak diketahui, filter di penerima tidak dapat di desain secara langsung. Ada beberapa macam jenis equalizer, diantaranya :

1. **Maximum Likelihood (ML) Sequence Detection**, optimal namun tidak ada dalam praktek.
2. **Linear equalization**, tidak begitu optimal namun sangat sederhana.
3. **Non-Linear equalization**, digunakan untuk beberapa jenis ISI.

Linear equalization sangat mudah diimplementasikan dan sangat efektif untuk kanal yang tidak mengandung ISI (seperti kanal dalam kabel telephone) maupun kanal yang mengandung ISI (seperti kanal *wireless*).



Gambar 4. Struktur equalizer

3. PEMBUATAN SISTEM

3.1 Pembuatan equalizer

Dalam pembuatan equalizer yang terpenting adalah respon dari equalizer harus memiliki respon yang sama dengan invers dari kanal. Untuk mencari nilai koefisien filter dari equalizer maka digunakan matrik toeplitz.

Respon dari equalizer tergantung nilai-nilai koefisien dari jajaran filter yang dibuat. Untuk mendapatkan respon equalizer yang merupakan invers dari kanal maka nilai-nilai koefisien filter harus ditentukan dengan benar.

Untuk menentukan nilai-nilai koefisien dengan benar maka diperlukan bantuan dari matrik toeplitz. Koefisien filter didapat dari mengalikan nilai invers dari matrik toeplitz dengan matrik "d" (0,...,1,...,0) dan dalam pembuatan equalizer tap equalizer harus \geq path multipath.

3.1.1 Equalizer untuk kanal 3 path

Langkah yang dilakukan untuk membuat equalizer zero forcing untuk kanal 3 path yaitu membuat matrik toeplitz, dimana data yang di-toeplitz merupakan data kanal 3 path.

0.9000	0.2000	0
0.3000	0.9000	0.2000
0	0.3000	0.9000

Merupakan bentuk matrik toeplitz untuk 3 tap equalizer

1.2077	-0.2899	0.0644
-0.4348	1.3043	-0.2899
0.1449	-0.4348	1.2077

Merupakan bentuk invers matrik toeplitz untuk 3 tap equalizer

0.9000	0.2000	0	0	0
0.3000	0.9000	0.2000	0	0
0	0.3000	0.9000	0.2000	0
0	0	0.3000	0.9000	0.2000
0	0	0	0.3000	0.9000

Merupakan bentuk matrik toeplitz untuk 5 tap equalizer

1.2085	-0.2921	0.0705	-0.0169	0.0038
-0.4381	1.3143	-0.3175	0.0762	-0.0169
0.1587	-0.4762	1.3228	-0.3175	0.0705
-0.0571	0.1714	-0.4762	1.3143	-0.2921
0.0190	-0.0571	0.1587	-0.4381	1.2085

Merupakan bentuk invers matrik toeplitz untuk 5 tap equalizer

Setelah mendapatkan nilai matrik toeplitz dan invers matrik toeplitz maka selanjutnya dicari koefisien filter pada equalizer dengan melakukan proses perkalian antara invers matrik toeplitz dengan matrik d. Matrik d berisi nilai (0,...,1,...,0) sesuai dengan jumlah tap equalizer-nya.

Koefisien filter = invers matrik toeplitz x matrik d

Koefisien 3 tap equalizer

$$\begin{bmatrix} 1.2077 & -0.2899 & 0.0644 \\ -0.4348 & 1.3043 & -0.2899 \\ 0.1449 & -0.4348 & 1.2077 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.2899 \\ 1.3043 \\ -0.4348 \end{bmatrix}$$

Dari hasil perkalian diatas didapatkan nilai koefisien filter zero forcing equalizer yaitu -0.2899 1.3043 -0.4348

Koefisien 5 tap equalizer

1.2085	-0.2921	0.0705	-0.0169	0.0038
-0.4381	1.3143	-0.3175	0.0762	-0.0169
0.1587	-0.4762	1.3228	-0.3175	0.0705
-0.0571	0.1714	-0.4762	1.3143	-0.2921
0.0190	-0.0571	0.1587	-0.4381	1.2085

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.0705 \\ -0.3175 \\ 1.3228 \\ -0.4762 \\ 0.1587 \end{bmatrix} =$$

Dari hasil perkalian diatas didapatkan nilai koefisien filter *zero forcing equalizer* yaitu 0.0705 -0.3175 1.3228 -0.4762 0.1587

3.1.2 Equalizer untuk kanal 5 path

Langkah yang dilakukan untuk membuat equalizer *zero forcing* untuk kanl 5 path yaitu membuat matrik toeplitz, dimana data yang di-toeplitz merupakan data kanal 5 path.

0.9000	0.3000	0.2000	0	0
0.2000	0.9000	0.3000	0.2000	0
0.2000	0.2000	0.9000	0.3000	0.2000
0	0.2000	0.2000	0.9000	0.3000
0	0	0.2000	0.2000	0.9000

Merupakan bentuk matrik toeplitz untuk 5 tap equalizer

1.2397	-0.4089	-0.1698	0.1502	-0.0123
-0.2063	1.3082	-0.3797	-0.1975	0.1502
-0.2692	-0.1223	1.3338	-0.3797	-0.1698
0.0926	-0.2944	-0.1223	1.3082	-0.4089
0.0393	0.0926	-0.2692	-0.2063	1.2397

Merupakan bentuk invers matrik toeplitz untuk 5 tap equalizer

0.9000	0.3000	0.2000	0	0	0	0
0.2000	0.9000	0.3000	0.2000	0	0	0
0.2000	0.2000	0.9000	0.3000	0.2000	0	0
0	0.2000	0.2000	0.9000	0.3000	0.2000	0
0	0	0.2000	0.2000	0.9000	0.3000	0.2000
0	0	0	0.2000	0.2000	0.9000	0.3000
0	0	0	0	0.2000	0.2000	0.9000

Merupakan bentuk matrik toeplitz untuk 7 tap equalizer

1.2405	-0.4105	-0.1718	0.1585	-0.0100	-0.0350	0.0139
-0.2060	1.3088	-0.3817	-0.1987	0.1591	-0.0011	-0.0350
-0.2733	-0.1157	1.3457	-0.4152	-0.1938	0.1591	-0.0100
0.0966	-0.3053	-0.1293	1.3585	-0.4152	-0.1987	0.1585
0.0507	0.0804	-0.3084	-0.1293	1.3457	-0.3817	-0.1718
-0.0313	0.0604	0.0804	-0.3053	-0.1157	1.3088	-0.4105
-0.0043	-0.0313	0.0507	0.0966	-0.2733	-0.2060	1.2405

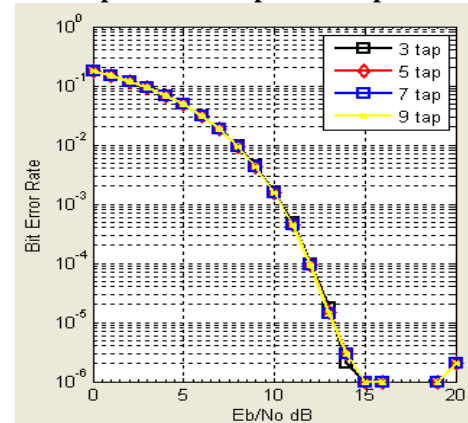
Merupakan bentuk invers matrik toeplitz untuk 7 tap equalizer

Setelah mendapatkan koefisien filter dan respon equalizer kemudian kita akan menentukan nilai BER dari equalizer yang kita buat.

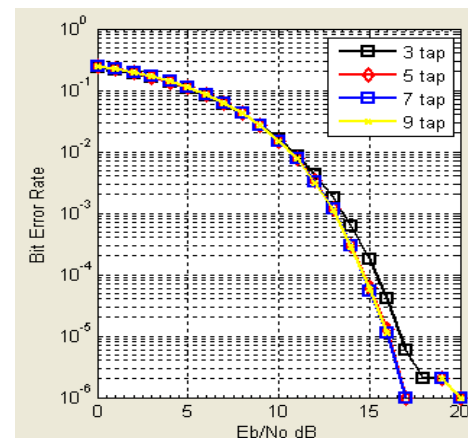
BER merupakan perbandingan error bit yang diterima dengan jumlah bit yang dikirim. Pada komunikasi suara BER yang di kehendaki yaitu 10^{-3} yang berarti dalam pengiriman 1000 bit informasi hanya diperbolehkan 1 bit error.

4. BER EQUALIZER

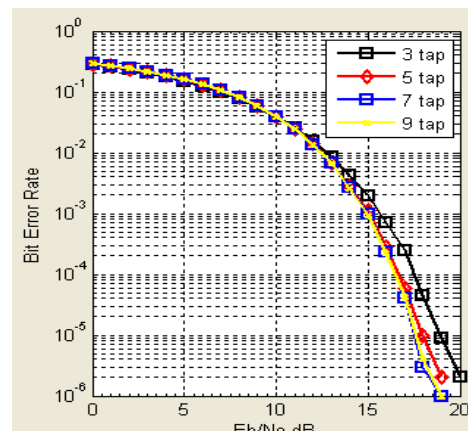
4.1 BER pada kanal 3 path multipath



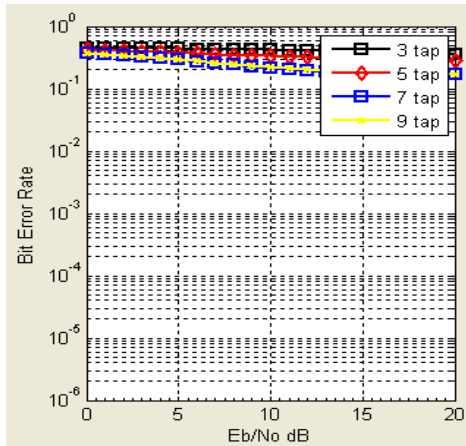
Gambar 5 BER untuk nilai path [0.1 1.0 0.2]



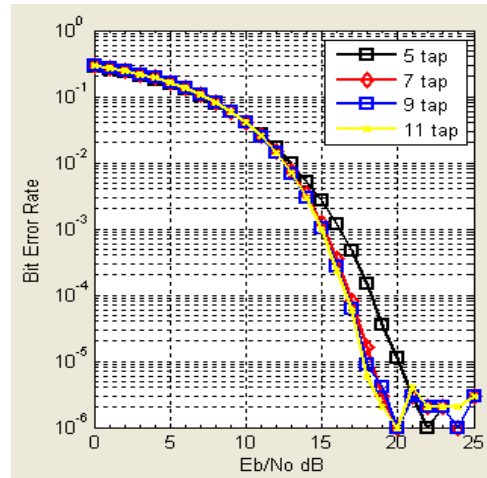
Gambar 6 BER untuk nilai path [0.2 0.9 0.3]



Gambar 7 BER untuk nilai path [0.2 0.8 0.3]

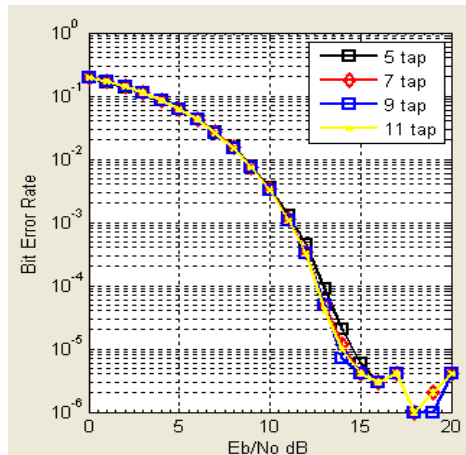


Gambar 8 BER untuk nilai path [0.6 1.0 0.7]

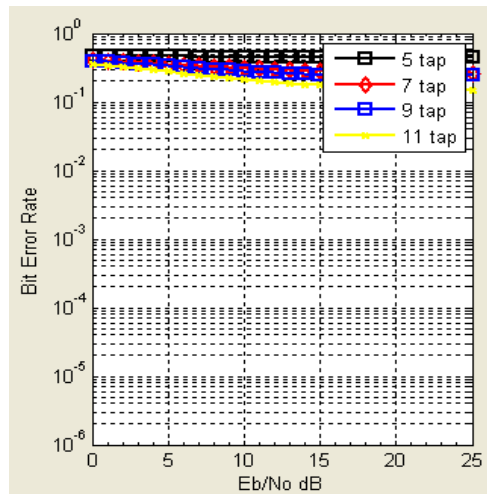


Gambar 11 BER untuk nilai path [0.2 0.2 0.8 0.3 0.2]

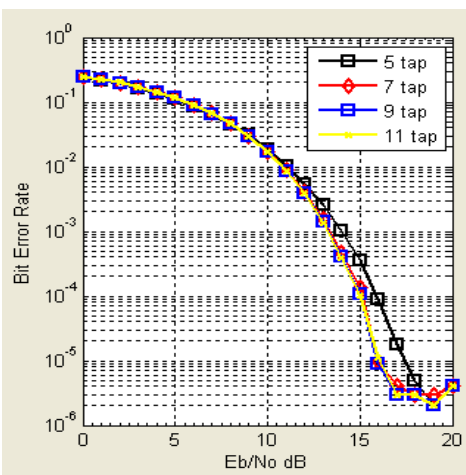
4.2 BER pada kanal 5 path multipath



Gambar 9 BER untuk nilai path [0.1 0.2 1.0 0.2 0.2]



Gambar 12 BER untuk nilai path [0.6 0.6 1.0 0.7 0.6]



Gambar 10 BER untuk nilai path [0.2 0.2 0.9 0.3 0.2]

Setelah melihat grafik diatas dapat dianalisa bahwa semakin banyak *path* pada kanal *multipath* maka pengaruh ISI semakin besar sehingga BER yang dihasilkan semakin buruk. Untuk menghilangkan efek dari *multipath* maka dibuat sebuah filter equalizer yang memiliki respon seperti invers dari kanal. Untuk membuat filter equalizer tersebut dapat dilakukan dengan menentukan jumlah tap yang digunakan. Tap equalizer yang digunakan harus \geq *path multipath*, semakin besar jumlah tap equalizer yang digunakan maka BER yang dihasilkan semakin bagus. Semakin besar jumlah tap equalizer yang digunakan maka menghasilkan respon equalizer yang semakin mendekati invers dari kanal. Akan tetapi dalam kenyataannya tidak mungkin membuat filter dengan jumlah tap ∞ .

Nilai BER yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh besarnya Eb/No. Eb/No merupakan perbandingan antar daya bit yang dikirimkan dengan *noise*, semakin besar Eb/No berarti semakin besar daya sinyal yang dikirimkan sehingga menghasilkan BER yang bagus.

Untuk mengetahui kinerja equalizer *zero forcing*, pada proyek akhir ini digunakan bermacam-macam nilai elemen baik untuk 3 *path* maupun 5 *path* dengan nilai tertinggi berada ditengah *path*. Untuk *path* dengan nilai elemen [0.1 1.0 0.2] menghasilkan nilai BER yang bagus dengan nilai BER 10^{-3} Eb/No-nya sebesar 10.5 dB, hal ini dikarenakan elemen *path* yang berada disamping nilainya kecil sehingga pengaruhnya kecil terhadap elemen *path* yang berada ditengah. Untuk *path* dengan nilai elemen [0.6 1.0 0.7], pengaruh elemen *path* yang berada disamping lebih besar karena selisih nilainya dengan elemen *path* yang berada ditengah tidak terlalu jauh sehingga BER yang dihasilkan tidak bagus.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data pada tugas akhir ini maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu :

1. Banyaknya *path* pada kanal *multipath* mempengaruhi data yang diterima. Semakin banyak *path* pada kanal *multipath* maka semakin buruk data yang diterima, dalam hal ini dilihat dari grafik BER.
2. Perubahan elemen tiap *path* berpengaruh pada respon kanal dan nilai BER yang dihasilkan. Equalizer *zero forcing* dapat menghasilkan BER yang bagus jika nilai elemen *path* yang berada ditengah dan disamping mempunyai selisih yang besar.
3. Banyaknya tap yang digunakan dalam pendesainan equalizer berpengaruh pada hasil BER yang didapatkan. Semakin banyak tap yang digunakan maka semakin bagus hasil BER yang didapatkan.
4. Nilai BER yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh besarnya Eb/No, semakin besar Eb/No berarti semakin besar daya sinyal yang dikirimkan sehingga menghasilkan BER yang bagus.
5. Untuk kanal *multipath* yang memiliki 3 *path*, hasil maksimal didapat pada tap equalizer sebanyak 9 tap dengan nilai BER 10^{-3} pada Eb/No sebesar 10 dB. Untuk kanal *multipath* yang memiliki 5 *path*, hasil maksimal didapat pada tap equalizer sebanyak 11 tap dengan nilai BER 10^{-3} pada Eb/No sebesar 11 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Blok diagram sistem komunikasi, Vijayan logeshwaran, “*Channel Equalization*”, Paper, EECS 862 Principles of Digital Commns, Kansas, 2003
- [2] Langton charan, “*Intersymbol Iinterference*”, intuitive guide to principles of communication, 2002.
- [3] Vijayan logeshwaran, “*Channel Equalization*”, Paper, EECS 862 Principles of Digital Commns, Kansas, 2003
- [4] Smalley david, “*Equalization Concepts*”, Texas instruments, Atlanta, Oktober 1994.
- [5] www.complextoreal.com
- [6] www.dsplog.com/2010/01/24/ber-for-bpsk-isi-channel-zero-forcing-equalizer/
- [7] www.dsplog.com/2008/06/05/16qam-bit-error-gray-mapping